

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



529425

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
8. April 2004 (08.04.2004)

PCT

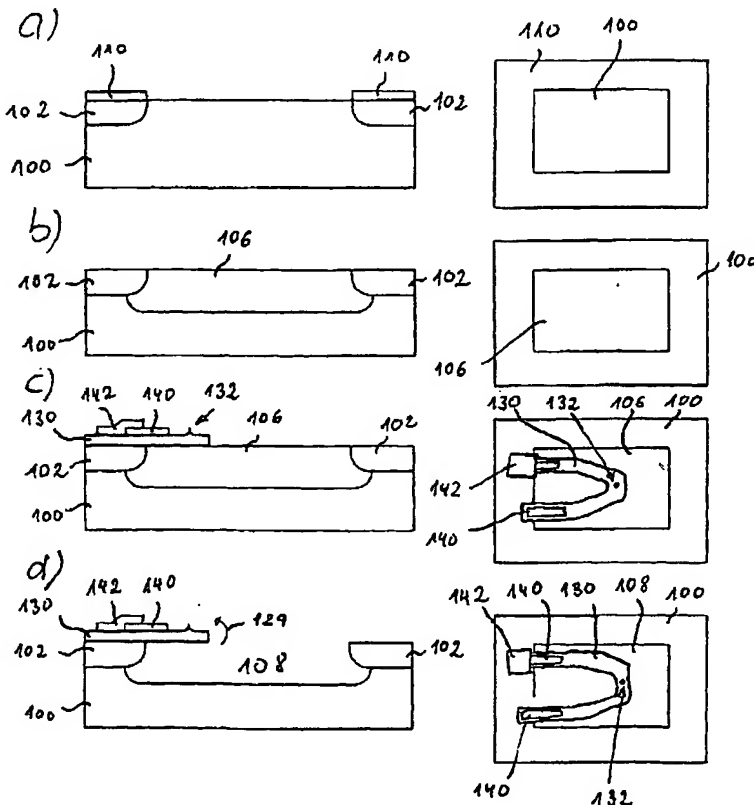
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/028956 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B81B 3/00 (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/000630 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LAMMEL, Gerhard [DE/DE]; Gartenstrasse 23, 72074 Tuebingen (DE). SCHAEFER, Frank [DE/DE]; Otto-Erbe-Weg 52, 72070 Tuebingen (DE). WEBER, Heribert [DE/DE]; Im Hoe-  
(22) Internationales Anmeldedatum: 27. Februar 2003 (27.02.2003) fle 28, 72622 Nürtingen (DE). FINKBEINER, Stefan [DE/DE]; Liststr. 22, 72810 Gomaringen (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).  
(30) Angaben zur Priorität: 102 44 785.3 26. September 2002 (26.09.2002) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE). Veröffentlicht:  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND MICROMECHANICAL COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND MIKROMECHANISCHES BAUELEMENT



(57) Abstract: Disclosed are a production method and a micromechanical component, in which porous silicon (106) is used as a sacrificial layer and a functional layer (130) is exposed by etching away the sacrificial layer.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Herstellungsverfahren und ein mikromechanisches Bauelement vorgeschlagen, bei dem poröses Silizium (106) als Opferschicht dient und durch Wegätzen der Opferschicht eine Funktionsschicht (130) freigelegt wird.



---

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

5

10 Verfahren und mikromechanisches Bauelement

Stand der Technik

15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren und einem mikromechanischen Bauelement nach der Gattung der nebengeordneten Ansprüche. Freistehende Mikrostrukturen in Oberflächenmikromechanik werden üblicherweise mit Hilfe der Opferschichttechnik hergestellt. Dazu wird auf einem Substrat, beispielsweise Silizium, eine Opferschicht erzeugt und eventuell strukturiert. Als Opferschicht kommt hierbei beispielsweise Siliziumdioxid in Frage. Auf diese Opferschicht wird eine Funktionsschicht aufgebracht und ebenfalls strukturiert. Als Funktionsschicht kommt beispielsweise polykristallines Silizium oder aber auch Siliziumnitrid in Frage. Durch das Auflösen der Opferschicht, beispielsweise durch Trockenätzen, durch Gasphasenätzen oder durch nasschemisches Ätzen wird die Funktionsschicht vom Substrat abgelöst, so dass sie frei steht. Sie ist an einer oder mehreren Stellen am Substrat aufgehängt und kann sich beispielsweise

20 verbiegen oder schwingen. Anwendungen solcher freitragender Strukturen sind z.B. Mikrobalken, an deren Ende die Spitze eines Rastermikroskops (atomic force microscope AFM, scanning tunneling microscope STM und dergleichen) befindet, um Oberflächen abzutasten. Andere Anwendungen für solche mikromechanische Strukturen sind Sensoren, die anhand der Absorption von Molekülen auf einem Mikrobalken über dessen

25 Verbiegung chemische Stoffkonzentrationen bestimmen und die somit auch als „künstliche Nasen“ bezeichnet werden können. Weitere Anwendungen sind Mikrobalken, die als Aktoren für optische Mikrospiegel dienen, wobei die Mikrospiegel beispielsweise als optische Schalter oder als Filter oder dergleichen dienen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind Mikrogreifer u.a.

35

Weiterhin ist es bekannt, poröses Silizium zu erzeugen. Dabei wird das Halbleitersubstrat, welches insbesondere als Siliziumsubstrat vorgesehen ist, mittels einem elektrochemischen Nassätzverfahren in einer fluoridhaltigen Lösung mit einer großen Anzahl von Poren versehen, so dass in dem Bereich des Substrats, in dem sich die Poren befinden, poröses Silizium gebildet wird.

#### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren und das mikromechanische Bauelement mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche haben dem gegenüber den Vorteil, dass ein Bereich von porösem Silizium bzw. ein Bereich von porösem Substratmaterial als Opferschicht verwendet wird. Hier ist es zum einen möglich, auf dem Siliziumsubstrat zunächst die Funktionsschicht aufzubringen und danach das Substrat durch elektrochemisches Nassätzen porös zu unterätzen, wobei als letzter Prozessschritt der poröse Substratbereich in verdünnter alkalischer Lösung aufgelöst und damit die Funktionsschicht von unten freigelegt wird. Diese Vorgehensweise ist insbesondere in den Figuren 3 und 4 dargestellt.

Erfindungsgemäß ist es jedoch insbesondere vorgesehen, durch elektrochemisches Nassätzen von Silizium in einer fluoridhaltigen Lösung den porösen Bereich auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats in einem ersten Schritt zu erzeugen und erst in einem zweiten Schritt die Funktionsschicht, beispielsweise aus Silizium, aufzubringen. Wahlweise können auf den porösen Bereich außer der Funktionsschicht noch weitere Schichten, wie beispielsweise Siliziumnitrid, Metall o.ä. auf das Substrat ausgebracht und strukturiert werden, um beispielsweise eine Vorspannung in der Funktionsschicht zu erzeugen, oder auch um Aktor- oder Sensorelemente in der Funktionsschicht zu integrieren bzw. diese zu kontaktieren. Weiterhin kann die poröse Schicht nach deren Erzeugung optional auch oxidiert werden. Die Funktionsschicht wird hierbei, wie in den Figuren 1 und 2 dargestellt, oberhalb des porösen Bereichs so strukturiert, dass sie die gewünschte Form bekommt, also beispielsweise einen Balken bildet, der nach seiner späteren Freilegung nur noch an definierten Stellen mit dem Substrat direkt oder indirekt verbunden ist. In einem dritten Schritt wird die Opferschicht aufgelöst bzw. umgelagert. Das Auflösen bzw. Wegätzen der porösen Schicht kann beispielsweise in verdünnter KOH-Lösung oder auch mittels TMAH-Lösung (Tetramethylammoniumhydroxid,  $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ ) weggeätzt werden. Alternativ hierzu kann insbesondere im Falle von

oxidiertem porösem Silizium das Wegätzen des porösen Bereichs in Flusssäure (HF) bzw. BHF (buffered HF, gepufferte Flusssäure) oder durch Gasphasenätzen in fluoridhaltiger Umgebung entfernt werden.

5 Der Vorteil der Verwendung von porösem Silizium als Opferschicht gegenüber der Verwendung von Siliziumdioxid als Opferschicht ist, dass mit porösem Silizium wesentlich tiefer geätzt werden kann als es aufgrund der herstellbaren Dicke von thermischem Siliziumoxid mit diesem Material möglich wäre. Weiterhin ist es möglich, insbesondere für den Fall, dass die Erzeugung des porösen Bereichs, d.h. der  
10 Opferschicht, zeitlich vor der Erzeugung der Funktionsschicht erfolgt, dass nach der Bildung der Funktionsschicht keine nasschemische Anwendung mehr erfolgen muss. Weiterhin wird für die in den Figuren 3 und 4 beschriebene Vorgehensweise, bei der zuerst die Funktionsschicht gebildet wird und anschließend der poröse Siliziumbereich gebildet wird, im Gegensatz zu dem in den Figuren 1 und 2 beschriebenen Ablauf eine  
15 weitere Trennschicht von der Funktionsschicht benötigt, wie beispielsweise Siliziumdioxid. Dem gegenüber kann die Selektivität beim elektrochemischen Porösizieren von Silizium auch durch eine lokale Dotierung, wie sie in einem integrierten Halbleiterprozess ohnehin üblich ist, bewerkstelligt werden. Hierdurch ist es möglich, den erfindungsgemäßen Prozess, insbesondere bei einer Fertigung der Funktionsschicht  
20 nach einer Fertigung des porösen Bereichs, einfacher in den Herstellungsablauf integrieren elektronischen Schaltungen mit einem mikromechanischen Bauelement eingebettet werden, ohne dass spezielle Wafer, wie beispielsweise SOI-Wafer (silicon on insulator), benötigt werden.

25 Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der in den nebengeordneten Ansprüchen angegebenen Verfahren bzw. dem mikromechanischen Bauelement möglich.

Besonders vorteilhaft ist, dass zuerst der poröse Bereich und anschließend die  
30 Funktionsschicht erzeugt wird, weil dies die Handhabung des Fertigungsprozesses stark vereinfacht und weiterhin nach der Erzeugung der Funktionsschicht keinen nasschemischen Schritt mehr erforderlich macht, sowie weiterhin auch vorteilhafte strukturelle Wirkungen hat. Insbesondere ergeben sich bei einer Erzeugung des porösen Bereichs nach der Erzeugung der Funktionsschicht das Problem, dass bei der Erzeugung  
35 des porösen Bereichs, welcher ein isotroper Prozessschritt ist, „Nasen“ bilden, welche

insbesondere an der Kante von freistehenden Strukturen deren Aufhängung schlecht definieren. Weiterhin ist von Vorteil, dass ein dotierter erster Bereich in dem Substrat erzeugt wird, in dem sich keine Poren bilden und dass anschließend der poröse Bereich erzeugt wird. Hierdurch ist es auf einfache Weise möglich, eine Strukturierung des porösen Bereichs zu erhalten. Weiterhin ist es von Vorteil, dass der poröse Bereich unterhalb der Funktionsschicht trockenchemisch weggeätzt werden kann. Dies vereinfacht das Herstellungsverfahren des mikromechanischen Bauelements. Weiterhin ist es von Vorteil, dass der poröse Bereich einen ersten porösen Teilbereich und einen zweiten porösen Teilbereich umfasst, wobei der zweite poröse Teilbereich eine höhere Porosität aufweist und durch eine thermische Behandlung ein Hohlraum im Bereich des zweiten porösen Teilbereichs gebildet wird und eine Deckschicht im Bereich des ersten porösen Teilbereichs verbleibt. Dadurch ist es möglich, die Freilegung der Funktionsschicht anschließend durch ein Trench-Ätzverfahren zu ermöglichen.

#### Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen

Figur 1 ein erstes erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren,

Figur 2 ein zweites erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren,

Figur 3 ein drittes erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren,

Figur 4 ein mikromechanisches Bauelement gemäß dem dritten erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist das erste erfindungsgemäße Herstellungsverfahren, beispielhaft für die Herstellung eines Mikrobalkens für ein Rasterkraftmikroskop (AFM) dargestellt. Das Rasterkraftmikroskop umfasst eine Spitze, welche in Figur 1c und 1d mit dem

Bezugszeichen 132 versehen ist, welche mit einem frei stehenden Mikrobalken verbunden ist, welcher in bestimmten Grenzen beweglich ist und bewegt werden kann. Es ist jedoch erfindungsgemäß selbstverständlich genauso möglich, andere mikromechanische Strukturen mittels den erfindungsgemäßen Verfahren herzustellen.

5 Beispiele hierfür sind mikromechanische Sensoren, wie beispielsweise Drehratensensoren oder auch lineare Beschleunigungssensoren, welche in der Funktionsschicht an Federelementen befestigte Massen aufweisen, deren Auslenkungen in Abhängigkeit von äußeren Beschleunigungen oder Drehraten geändert wird.

10 In Figur 1 ist jeweils in den Figuren 1a bis 1d verschiedene Prozessstadien des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements dargestellt und zwar auf der linken Seite eine Schnittdarstellung durch ein, gemäß dem ersten erfindungsgemäßen Verfahren prozessiertes Substrat und auf der rechten Seite eine Draufsicht auf ein solchermaßen prozessiertes Substrat. In Figur 1a ist ein Halbleitersubstrat 100 dargestellt, welches  
15 dotierte erste Bereiche 102 aufweist und in Teilbereichen seiner Oberfläche mittels einer Maskierungsschicht 110 bedeckt ist. Bei dem Substrat 100 handelt es sich erfindungsgemäß insbesondere um ein positiv dotiertes Siliziumsubstrat 100, in welches als dotierte erste Bereiche 102 lokale negative Dotierungen eingebracht sind. Alternativ oder zusätzlich ist das Substrat 100 mittels der beispielsweise als Nitridmaske ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )  
20 vorgesehenen Abdeckschicht 110 bedeckt. Durch die Abdeckung des Substrats 100 werden diejenigen Stellen definiert, welche porösisiert werden sollen. In Figur 1b ist das erfindungsgemäße Halbleitersubstrat 100 nach der Erzeugung eines porösen Bereichs 106 dargestellt. Dieser wird dadurch erzeugt, dass in einer fluoridhaltigen Lösung elektrochemisch poröses Silizium als Opferschicht im Bereich 106 hergestellt wird.

25 Typische Schichtdicken dieser porösen Schicht bzw. dieses porösen Bereichs 106 liegen zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$ . Die poröse Schicht 106 bzw. der poröse Bereich 106 kann optional weiterhin auch oxidiert werden. Die Nitridmaske 110 kann im selben Ätzbad abgelöst werden.

30 In Figur 1c ist das erfindungsgemäße Halbleitersubstrat 100 dargestellt, auf welchem bereits das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement erkennbar ist. Das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement ist dadurch ausgezeichnet, dass es eine Funktionsschicht aufweist, welche freistehende Bereiche aufweist, die sich beispielsweise bewegen können oder auch auf bestimmte Temperaturen geheizt werden können. Hierzu  
35 ist es notwendig, dass das mikromechanische Bauelement in seiner Funktionsschicht,

welche in der Figur 1 mit dem Bezugszeichen 130 bezeichnet ist, zumindest teilweise freistehend vorgesehen ist. Im beschriebenen Beispiel ist als mikromechanisches Bauelement die Spitze eines Rasterkraftmikroskops beschrieben. Hierzu weist die Funktionsschicht 130, welche beispielsweise aus epitaktischem oder polykristallinem Silizium besteht, einen vorderen freistehenden Bereich auf, auf welcher sich die Spitze 132 des Rasterkraftmikroskops befindet. Diese Funktionsschicht 130 wird derart hergestellt, dass auf dem Siliziumsubstrat 100 und insbesondere auf dem porösisierten Bereich 106 die Funktionsschicht 130, insbesondere ein kristallines oder polykristallines Silizium, abgeschieden wird. Mit weiteren, aus der Halbleitertechnik bekannten Verfahren, können weitere Schichten, die mit der Funktionsschicht 130 zusammen wirken, gebildet werden. Beispielhaft ist in Figur 1 eine Siliziumnitridschicht als strukturierter Bereich mit dem Bezugszeichen 140 versehen. Weiterhin ist eine Aluminiumschicht als weiterer strukturierter Bereich, welcher mit der Funktionsschicht 130 zusammen wirkt, in strukturierter Weise auf das Bauelement aufgebracht und mit dem Bezugszeichen 142 bezeichnet. Die Aluminiumschicht 142 dient beispielsweise der Signalzuführung bzw. -ableitung auf die Siliziumnitridschicht 140, welche beispielsweise zur Heizung der Funktionsschicht 130 dient. Die mit der Funktionsschicht 130 zusammen wirkenden Schichten 140, 142 sind erfindungsgemäß insbesondere als Sensorelemente oder Aktorelemente vorgesehen, die beispielsweise den Mikrobalken, insbesondere mit einer Vorspannung, herausbiegen können. Sowohl die Funktionsschicht 130 als auch die mit dieser zusammen wirkenden Schichten 140, 142 werden in der Regel erfindungsgemäß ebenfalls strukturiert, um ihnen die gewünschte Form zu geben.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird die poröse Schicht 106 bzw. der poröse Bereich 106 herausgelöst und damit die Funktionsschicht 130 zumindest teilweise freigelegt. Das Resultat dieses Vorgangs ist in Figur 1d dargestellt. Hierbei wird der poröse Bereich 106 im Wesentlichen vollständig entfernt, weshalb der poröse Bereich 106 auch als Opferschicht bezeichnet wird. Dieser herausgelöste Bereich ist in Figur 1d mit dem Bezugszeichen 108 bezeichnet. Durch das Herauslösen der Opferschicht 106 wird die Funktionsschicht 130 freigelegt. Dies kann im Falle von porösem Silizium mit verdünnter alkalischer Lösung, beispielsweise mittels KOH oder TMAH geschehen. Im Falle von oxidiertem porösem Silizium eignet sich eine fluoridhaltige Lösung, wie beispielsweise HF oder BHF. In beiden Fällen sind auch Trockenätzverfahren, wie beispielsweise reaktives Ionenätzen, mit SF<sub>6</sub> (Schwefelhexafluorid) anwendbar. Durch das Auflösen der porösen Schicht 106, welches wegen der geringen Wandstärke der Poren um mehrere



Größenordnungen schneller geschieht als die Ätzung einer gleich dicken, massiven Schicht aus Silizium, wird die Funktionsschicht 130 von unten teilweise vom Substrat 100 freigelegt bzw. abgelöst, so dass sie frei steht. Durch eine geeignete Vorspannung kann sie sich aus der Substratebene herausbiegen, um beispielsweise als Federbalken für eine Rasterkraftmikroskopspitze zu dienen. Dies ist in Figur 1d mittels einem mit dem Bezugszeichen 129 bezeichneten Pfeil dargestellt.

In Figur 2 ist ein alternatives zweites erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren dargestellt. Wiederum ist das Substrat 100 und die ersten dotierten Bereiche 102 vorgesehen, welche der Begrenzung des später zu erzeugenden porösen Bereichs dienen. Das Substrat 100 ist erfindungsgemäß auch beim zweiten Verfahren, insbesondere als positiv dotiertes Siliziumsubstrat vorgesehen. Die ersten dotierten Bereiche 102 sind ebenfalls wiederum als Bereiche einer lokalen negativen Dotierung vorgesehen. Alternativ zu den dotierten ersten Bereichen 102 zur Begrenzung des porösen Bereichs ist es auch möglich, lediglich eine, auch in Figur 2 mit dem Bezugszeichen 110 versehene Nitridmaske als Abdeckschicht 110 vorzusehen. Insgesamt wird durch den dotierten ersten Bereich 102 und/oder durch die Abdeckung 110 der Bereich definiert, welcher porösisiert werden soll. Dieser zu porösizierende Bereich wird beim zweiten Herstellungsverfahren an seiner Oberfläche einige  $\mu\text{m}$  tief mit einer starken positiven Dotierung versehen. Hierbei entsteht der in Figur 2a mit dem Bezugszeichen 103 versehene Bereich des Substrats 100, welcher wie gesagt lediglich einige  $\mu\text{m}$  tief in das Substrat 100 hinein reicht. Die starke positive Dotierung des Bereichs 103 beträgt beispielsweise  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . In Figur 2b ist das erfindungsgemäße Substrat 100 nach dem Verfahrensschritt der Erzeugung des porösen Bereichs dargestellt. Der poröse Bereich ist beim zweiten erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils nicht – wie in Figur 1 dargestellt – mittels eines einzigen gleichförmigen Bereichs 106 vorgesehen, sondern der poröse Bereich ist beim zweiten erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren aufgeteilt in einen ersten porösen Teilbereich 103 und einen zweiten porösen Teilbereich 104. Zusammen werden die beiden Teilbereiche 103, 104 im folgenden auch als poröser Bereich 106 bezeichnet. Der erste poröse Teilbereich 103 entspricht dem Bereich der oberflächlichen, stark positiven Dotierung des Siliziumsubstrats 100, welcher in Figur 2a ebenfalls mit dem Bezugszeichen 103 dargestellt ist. Beim Verfahrensschritt zur Erzeugung des Halbleitersubstrats gemäß der Figur 2b wird in einer fluoridhaltigen Lösung elektrochemisch poröses Silizium als Opferschicht

hergestellt, wobei typische Schichtdicken des gesamten porösen Bereichs 106 zusammen wiederum zwischen 1  $\mu\text{m}$  und mehreren 100  $\mu\text{m}$  liegen. Aufgrund der Ätzeigenschaften von porösem Silizium hat die höher positiv dotierte Schicht 103, das heißt der erste poröse Teilbereich 103, eine niedrigere Porösität als der zweite poröse Teilbereich 104, welcher sich in dem Bereich des Substrats 100 befindet, welcher weniger stark positiv dotiert ist. Ein ähnlicher bzw. auch verstärkender Effekt kann neben der unterschiedlichen Dotierung der Substratbereiche 103, 104 auch durch eine Änderung der Stromstärke bzw. Stromdichte während des Porösizierens hervorgerufen werden. Im zweiten porösen Teilbereich 104 weist das poröse Silizium eine höhere Porösität auf, als im ersten Teilbereich 103. Anstatt der Erzeugung lediglich einer hochporösen Schicht im zweiten porösen Teilbereich 104 des porösen Gesamtbereichs 106 ist es erfindungsgemäß auch möglich, bei noch höheren Stromstärken das Siliziummaterial im zweiten porösen Teilbereich 104 zu elektropolieren, um dadurch einen Hohlraum unter der porösen Schicht 103 im ersten porösen Teilbereich 103 zu erzeugen. Dies ist jedoch lediglich optional Teil des zweiten erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens. Die porösen Schichten 103, 104 können erfindungsgemäß auch optional oxidiert werden. Die Nitridmaske 110 als Abdeckschicht 110 kann bei dem Verfahren der Herstellung der porösen Schichten 103, 104 ebenfalls abgelöst werden. Erfindungsgemäß ist es beim zweiten Herstellungsverfahren anschließend an die Porosizierung vorgesehen, die porösen Teilschichten der porösen Schicht bei hoher Temperatur von ca. 900°C bis 1100°C in Wasserstoffatmosphäre bei Atmosphärendruck umzulagern. Dadurch wird die hochporöse Schicht im zweiten porösen Teilbereich 104 abgebaut, sofern sie – falls ein Elektropolierschritt nicht angewendet wurde – noch existiert. Der Bereich der zweiten porösen Teilschicht 104 wandelt sich bei dieser Umlagerung in einen Hohlraum bzw. in eine Kaverne um und ist in der Figur 2c mit dem Bezugszeichen 107 versehen. Die obere, weniger poröse bzw. niedrig porösere Schicht 104, die auch als erster poröser Teilbereich 103 bezeichnet wird, wandelt sich bei dieser Umlagerung in eine Deckschicht 105 um. Die Poren der Deckschicht 105 sind hierbei erfindungsgemäß insbesondere weitgehend geschlossen.

Im Anschluss an die Umlagerung zur Herstellung des Hohlraums 107 wird die erfindungsgemäße Funktionsschicht 130 mit ihren Hilfsschichten bzw. den mit der Funktionsschicht zusammenwirkenden Schichten 140, 142 in ähnlicher Weise, wie bei Figur 1 beschrieben, aufgebracht und strukturiert. Die Funktionsschicht 130 ist wiederum entweder als epitaktische Schicht oder als polykristalline Schicht,

insbesondere aus Silizium, vorgesehen. Die Funktionsschicht 130 bzw. die mit dieser zusammen wirkenden Schichten 140, 142 werden, ähnlich wie bei Figur 1 beschrieben, strukturiert, um ihnen die gewünschte Form zu geben. Dies kann bevorzugt durch ein Trockenätzverfahren, wie beispielsweise reaktives Ionenätzen mit  $\text{SF}_6$ , geschehen.

5 Durch Ätzen, insbesondere durch Trench-Ätzen, der Funktionsschicht und der Deckschicht 105, wird die Funktionsschicht 130 vom Substrat 100 abgelöst und damit freigelegt, so dass sie frei steht. Durch geeignete Vorspannung der Funktionsschicht 130 kann diese sich aus der Substratebene herausbiegen, um beispielsweise als Federbalken für ein Rasterkraftmikroskop zu dienen.

10 In Figur 3 ist ein drittes erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren dargestellt. Im Gegensatz zu den beiden ersten erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren ist es beim dritten Herstellungsverfahren vorgesehen, zunächst die Funktionsschicht 130 zu erzeugen und anschließend den Bereich des porösen Siliziums zu erzeugen. Dies hat  
15 den Nachteil, dass nach der Erzeugung der Funktionsschicht 130 ein nasschemischer Prozessschritt zur Erzeugung des porösen Siliziums durchzuführen ist. In Figur 3a ist ein Substrat 100 mittels einer oberflächlichen Schicht 101 aus thermischem Silizium dargestellt. Bei dem Substrat 100 handelt es sich erfindungsgemäß insbesondere um ein Siliziumsubstrat. Oberhalb der thermischen Siliziumoxidschicht ist erfindungsgemäß  
20 die Funktionsschicht 130 vorgesehen, welche anschließend strukturiert wird, was in der Figur 4b dargestellt ist. Anschließend an die Erzeugung der Funktionsschicht 130 wird im dritten Herstellungsverfahren in Figur 3 der poröse Siliziumbereich hergestellt, welcher mit dem Bezugszeichen 106 versehen ist. Hierbei entstehen unterhalb insbesondere der freistehenden und in der Figur 3 mit dem Bezugszeichen 131  
25 versehenen Anteile der Funktionsschicht 130 sogenannte Nasen aus Substratmaterial, welches nicht zum porösen Bereich 106 gehört. Eine solche Nase ist in Figur 3c mit dem Bezugszeichen 99 versehen. In einem nachfolgenden Schritt, dessen Resultat in Figur 3d dargestellt ist, wird der Bereich des porösen Siliziums 106 aus der Figur 3c mittels eines nasschemischen Prozesses entfernt und es entsteht der freigelegte Bereich, welcher auch in Figur 3 mit dem Bezugszeichen 108 bezeichnet ist. Dieser Bereich  
30 weist unterätzte Bereiche unterhalb der Funktionsschicht 130 auf, welche in Figur 3d mit dem Bezugszeichen 135 versehen sind.

35 In Figur 4 ist das Resultat der Herstellung eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements gemäß dem dritten erfindungsgemäßen

Herstellungsverfahren, wie in Figur 3 dargestellt, abgebildet. Auf dem Substrat 100 ist die Funktionsschicht 130 vorgesehen, sowie der herausgeätzte Bereich 108, in dem sich vorher die poröse Siliziumschicht 106 befand, welche zur Herstellung des erfindungsgemäßen Bauelementes als Opferschicht diente. Die Funktionsschicht 130 weist in Figur 4 einen freistehenden Mikrobalken auf, welcher im freistehenden Bereich mit dem Bezugszeichen 131 bezeichnet ist. Durch das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement ist eine Schnittlinie AA dargestellt, entlang welcher die in Figur 3 dargestellten Querschnitte vorgesehen sind. Erkennbar ist in Figur 4 der unterätzte Bereich 135, der Ausnehmung 108. Dadurch, dass die Erzeugung des porösen Siliziumbereichs 106 weitgehend ein isotroper Prozess ist, bilden sich unterhalb der freistehenden Struktur sogenannte Nasen, die in Figur 4 mit dem Bezugszeichen 136 versehen sind. Dies ist erfindungsgemäß deshalb der Fall, weil die Erzeugung des porösen Bereichs 106 nach der Erzeugung der Funktionsschicht 130 erfolgt. Im Bereich der Nasen 136 ist die freistehende Struktur weniger gut definiert als wenn der Übergang zwischen dem mit dem Substrat 100 verbundenen Bereich der Funktionsschicht 130 zu dem freistehenden Bereich 131 der Funktionsschicht 130 gerade und definiert wäre.

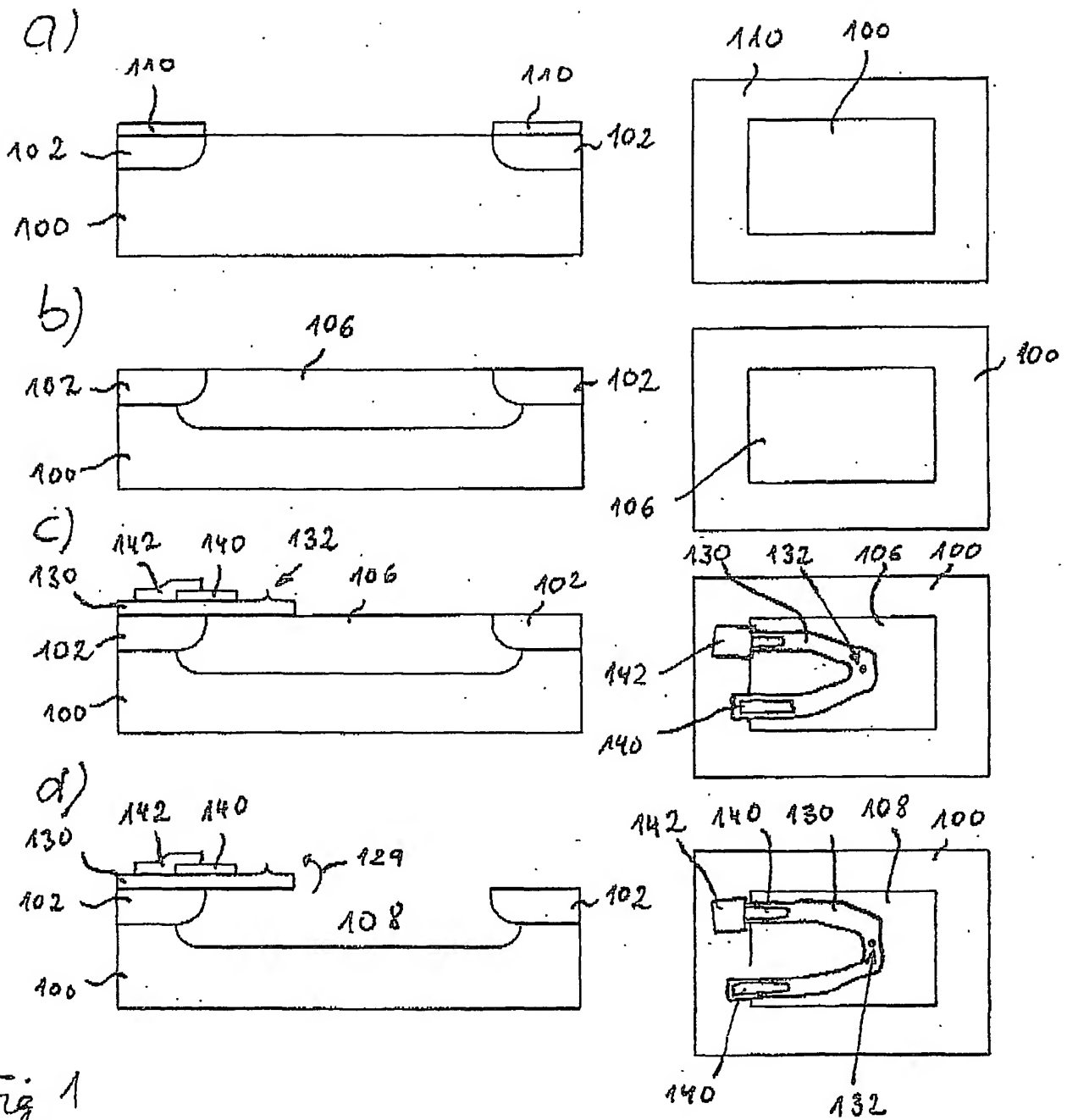
5

10 Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements mittels einer Opferschicht, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Siliziumsubstrat (100) ein strukturierter poröser Bereich (106) und oberhalb des porösen Bereichs (106) eine Funktionsschicht (130) erzeugt wird und bei dem anschließend die Funktionsschicht (130) freigelegt wird, wobei der poröse Bereich (106) zumindest teilweise als Opferschicht dient.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst der poröse Bereich (106) und anschließend die Funktionsschicht (130) erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der poröse Bereich (106) dadurch strukturiert vorgesehen ist, dass ein dotierter erster Bereich (102) in dem Substrat (100) erzeugt wird, in welchem sich keine Poren bilden, und dass anschließend der poröse Bereich (106) erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktionsschicht (130) strukturiert ist und dass weitere, mit der Funktionsschicht (130) zusammen wirkende Schichten (140, 142), die insbesondere strukturiert vorgesehen sind, oberhalb des porösen Bereichs (106) erzeugt werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der poröse Bereich (106) unterhalb der Funktionsschicht (130) trockenchemisch weggeätzt wird.

35

- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der poröse Bereich (106) einen ersten porösen Teilbereich (103) und einen zweiten porösen Teilbereich (104) umfasst, wobei der zweite poröse Teilbereich (104) eine höhere Porösität aufweist und durch eine thermische Behandlung ein Hohlraum (107) im Bereich des zweiten porösen Teilbereichs (104) gebildet wird und wobei eine Deckschicht (105) im Bereich des ersten porösen Teilbereichs (103) verbleibt.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Freilegung der Funktionsschicht (130) wenigstens die Deckschicht (105) zumindest teilweise geätzt wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst die Funktionsschicht (130) erzeugt wird und anschließend der poröse Bereich (106) unterhalb der Funktionsschicht (130) erzeugt wird.
9. Mikromechanisches Bauelement, hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8.



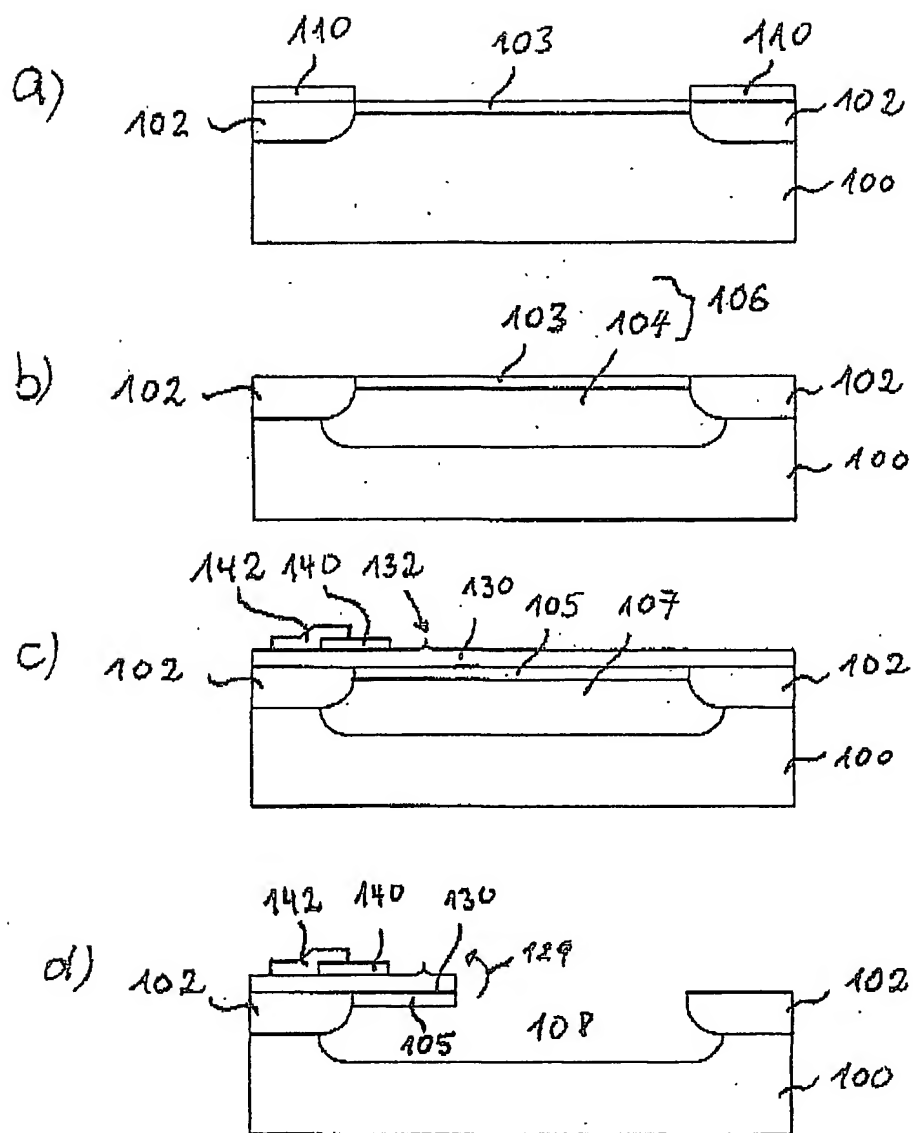


Fig 2



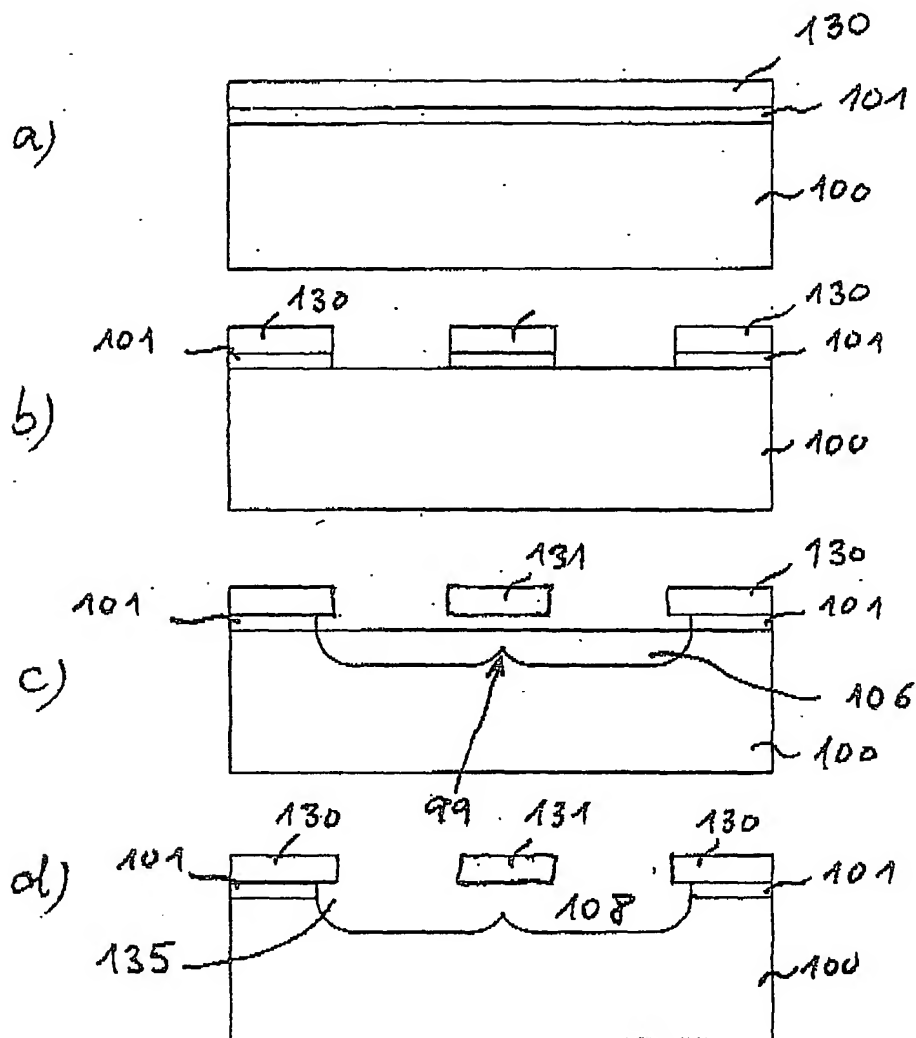


Fig 3

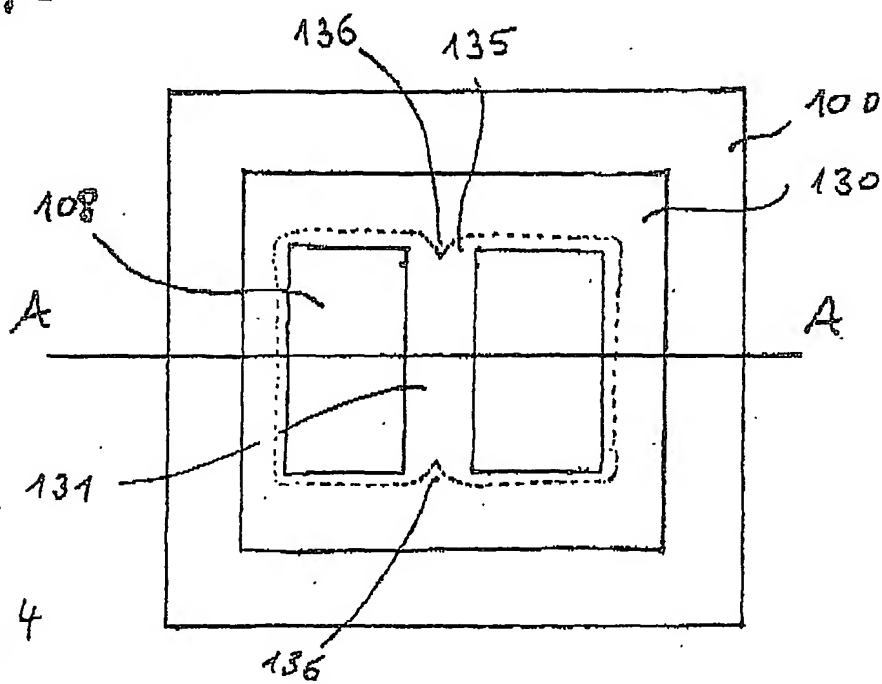


Fig 4

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
8. April 2004 (08.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/028956 A3**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B81B 3/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/000630

(22) Internationales Anmeldedatum:  
27. Februar 2003 (27.02.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 44 785.3 26. September 2002 (26.09.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LAMMEL, Gerhard**

[DE/DE]; Gartenstrasse 23, 72074 Tuebingen (DE).  
**SCHAEFER, Frank** [DE/DE]; Otto-Erbe-Weg 52, 72070  
Tuebingen (DE). **WEBER, Heribert** [DE/DE]; Im Hoe-  
fle 28, 72622 Nürtingen (DE). **FINKBEINER, Stefan**  
[DE/DE]; Liststr. 22, 72810 Gomaringen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

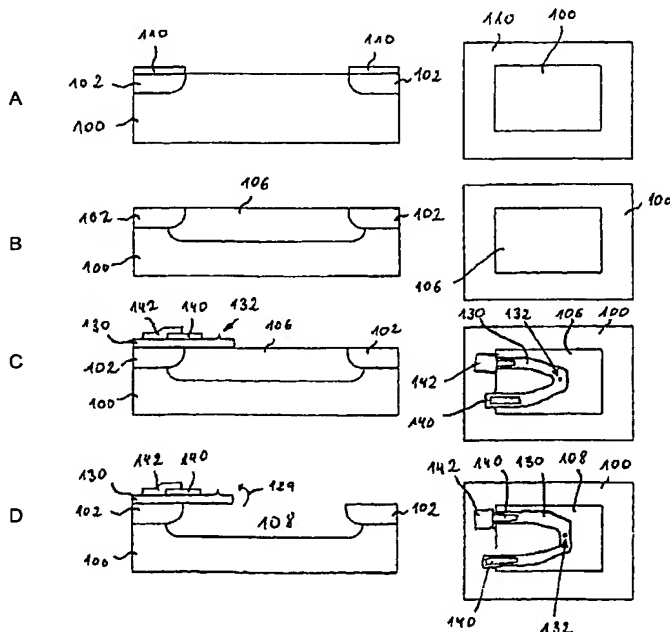
(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen

Recherchenberichts: 23. Dezember 2004

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND MICROMECHANICAL COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND MIKROMECHANISCHES BAUELEMENT



(57) Abstract: Disclosed are a production method and a micromechanical component, in which porous silicon (106) is used as a sacrificial layer and a functional layer (130) is exposed by etching away the sacrificial layer.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Herstellungsverfahren und ein mikromechanisches Bauelement vorgeschlagen, bei dem poröses Silizium (106) als Opferschicht dient und durch Wegätzen der Opferschicht eine Funktionsschicht (130) freigelegt wird.

WO 2004/028956 A3



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/00630

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B81B3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B81B B81C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 02/051741 A (BOSCH GMBH ROBERT ; BENZEL HUBERT (DE); SCHAEFER FRANK (DE); WEBER HER) 4 July 2002 (2002-07-04) figures 2-5 page 15, line 34 - page 21, line 12	1,2,5-7, 9
X	EP 1 088 785 A (ECOLE POLYTECH) 4 April 2001 (2001-04-04) figures 1-8 paragraphs '0024!, '0036!, '0038! - '0058! paragraph '0051!	1,4,6,8, 9
X	US 5 542 558 A (OFFENBERG MICHAEL ET AL) 6 August 1996 (1996-08-06) figures 1-5 column 2, line 26 - column 5, line 41 column 3, line 65 - column 4, line 13	1-5,8,9
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 October 2004

Date of mailing of the international search report

09/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

McGinley, C

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/00630

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>LEE C-S ET AL: "A new wide-dimensional freestanding microstructure fabrication technology using laterally formed porous silicon as a sacrificial layer"</p> <p>SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 84, no. 1-2, 1 August 2000 (2000-08-01), pages 181-185, XP004222511 ISSN: 0924-4247 paragraph '0003!; figure 4</p>	1-5,8,9
X	<p>US 5 594 171 A (IMAEDA YASUO ET AL) 14 January 1997 (1997-01-14) figures 5-10 column 2, line 15 - column 3, line 19 column 5, line 54 - column 6, line 60</p>	1-5,9
X	<p>EP 0 895 276 A (ST MICROELECTRONICS SRL) 3 February 1999 (1999-02-03) figures 1-7</p>	1-5,9
X	<p>SPLINTER A ET AL: "Thick porous silicon formation using implanted mask technology"</p> <p>SENSORS AND ACTUATORS B, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 76, no. 1-3, 1 June 2001 (2001-06-01), pages 354-360, XP004241143 ISSN: 0925-4005 figures 3,4</p>	1-5,9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/00630

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 02051741	A	04-07-2002	DE 10064494 A1	04-07-2002
			WO 02051741 A2	04-07-2002
			EP 1345842 A2	24-09-2003
			JP 2004525352 T	19-08-2004
			US 2004065931 A1	08-04-2004
EP 1088785	A	04-04-2001	EP 1088785 A1	04-04-2001
			WO 0119723 A1	22-03-2001
			EP 1263675 A1	11-12-2002
US 5542558	A	06-08-1996	DE 4331789 A1	23-03-1995
US 5594171	A	14-01-1997	JP 3305516 B2	22-07-2002
			JP 8129026 A	21-05-1996
			DE 19540120 A1	02-05-1996
			US 5830777 A	03-11-1998
EP 0895276	A	03-02-1999	EP 0895276 A1	03-02-1999
			DE 69817518 D1	02-10-2003
			EP 0922944 A2	16-06-1999
			JP 11150096 A	02-06-1999
			JP 11102893 A	13-04-1999
			US 6197655 B1	06-03-2001

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/00630

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B81B3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B81B B81C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 02/051741 A (BOSCH GMBH ROBERT ; BENZEL HUBERT (DE); SCHAEFER FRANK (DE); WEBER HER) 4. Juli 2002 (2002-07-04) Abbildungen 2-5 Seite 15, Zeile 34 - Seite 21, Zeile 12	1, 2, 5-7, 9
X	EP 1 088 785 A (ECOLE POLYTECH) 4. April 2001 (2001-04-04) Abbildungen 1-8 Absätze '0024!, '0036!, '0038! - '0058! Absatz '0051!	1, 4, 6, 8, 9
X	US 5 542 558 A (OFFENBERG MICHAEL ET AL) 6. August 1996 (1996-08-06) Abbildungen 1-5 Spalte 2, Zeile 26 - Spalte 5, Zeile 41 Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 4, Zeile 13	1-5, 8, 9
-/-		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. Oktober 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/11/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

McGinley, C

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	LEE C-S ET AL: "A new wide-dimensional freestanding microstructure fabrication technology using laterally formed porous silicon as a sacrificial layer" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, Bd. 84, Nr. 1-2, 1. August 2000 (2000-08-01), Seiten 181-185, XP004222511 ISSN: 0924-4247 Absatz '0003!; Abbildung 4	1-5,8,9
X	US 5 594 171 A (IMAEDA YASUO ET AL) 14. Januar 1997 (1997-01-14) Abbildungen 5-10 Spalte 2, Zeile 15 - Spalte 3, Zeile 19 Spalte 5, Zeile 54 - Spalte 6, Zeile 60	1-5,9
X	EP 0 895 276 A (ST MICROELECTRONICS SRL) 3. Februar 1999 (1999-02-03) Abbildungen 1-7	1-5,9
X	SPLINTER A ET AL: "Thick porous silicon formation using implanted mask technology" SENSORS AND ACTUATORS B, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, Bd. 76, Nr. 1-3, 1. Juni 2001 (2001-06-01), Seiten 354-360, XP004241143 ISSN: 0925-4005 Abbildungen 3,4	1-5,9



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/00630

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 02051741 A	04-07-2002	DE 10064494 A1	04-07-2002
		WO 02051741 A2	04-07-2002
		EP 1345842 A2	24-09-2003
		JP 2004525352 T	19-08-2004
		US 2004065931 A1	08-04-2004
EP 1088785 A	04-04-2001	EP 1088785 A1	04-04-2001
		WO 0119723 A1	22-03-2001
		EP 1263675 A1	11-12-2002
US 5542558 A	06-08-1996	DE 4331789 A1	23-03-1995
US 5594171 A	14-01-1997	JP 3305516 B2	22-07-2002
		JP 8129026 A	21-05-1996
		DE 19540120 A1	02-05-1996
		US 5830777 A	03-11-1998
EP 0895276 A	03-02-1999	EP 0895276 A1	03-02-1999
		DE 69817518 D1	02-10-2003
		EP 0922944 A2	16-06-1999
		JP 11150096 A	02-06-1999
		JP 11102893 A	13-04-1999
		US 6197655 B1	06-03-2001